

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-7028

(P2001-7028A)

(43)公開日 平成13年1月12日(2001.1.12)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

### 識別記号

F I  
H 0 1 L 21/205  
H 0 5 H 1/46

テーマコード(参考)  
5F045

審査請求 有 請求項の数17 O.L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平11-171564

(22)出願日 平成11年6月17日(1999.6.17)

(71)出願人 000006208

三菱重工業株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目5番1号

(72)発明者 山越 英男

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地  
三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

(72)発明者 佐竹 宏次

神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地

(34) 代理人 100102864

卷之三

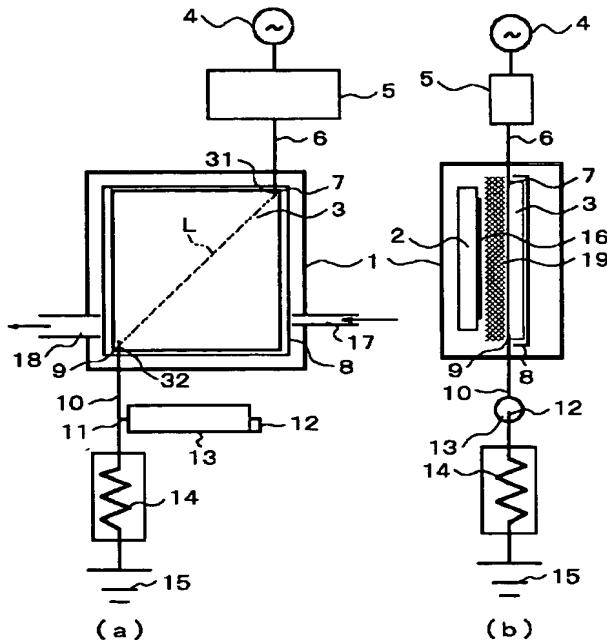
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放重重極、高周波プラズマ発生装置、給重方法および半導体製造方法

(57) 【要約】

【課題】 プラズマのような放電状態の均一性を向上させる放電電極を提供する。

【解決手段】 供給された高周波電力に基づいて放電状態19を発生させるための放電電極であって、前記高周波電力が供給される電極本体3と、前記電極本体に供給された高周波電力の反射波が前記電極本体で発生することを防止する反射波防止部13とを備えている。前記放電状態とは、放電により発生するプラズマであることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 供給された高周波電力に基づいて放電状態を発生させるための放電電極であって、前記高周波電力が供給される電極本体と、前記電極本体に供給された高周波電力の反射波が前記電極本体で発生することを防止する反射波防止部とを備えた放電電極。

【請求項2】 請求項1に記載の放電電極において、前記反射波防止部は、更に、前記高周波電力の反射波が前記電極本体に進入することを防止する放電電極。

【請求項3】 請求項1または2に記載の放電電極において、前記反射波防止部は、前記高周波電力の定在波が前記電極本体に発生することを防止する放電電極。

【請求項4】 請求項1から3のいずれかに記載の放電電極において、前記電極本体は、前記供給された高周波電力を前記電極本体の外部に出力するための出力部を有し、前記反射波防止部は、前記出力部に接続され、前記出力部から出力された前記高周波電力に対する負荷インピーダンスである放電電極。

【請求項5】 請求項4に記載の放電電極において、前記負荷インピーダンスは、前記出力部から出力された前記高周波電力の進行波成分を略完全に吸収して前記反射波が前記電極本体で発生することを防止する放電電極。

【請求項6】 請求項4または5に記載の放電電極において、前記負荷インピーダンスは、可変または固定のインピーダンス値を有するインピーダンス整合部と、抵抗を有している放電電極。

【請求項7】 請求項4から6のいずれかに記載の放電電極において、前記負荷インピーダンスは、そのインピーダンス値を可変に調整可能なインピーダンス整合部を有し、前記インピーダンス整合部は、前記負荷インピーダンスに入力される高周波電力、前記負荷インピーダンスから反射される高周波電力、前記負荷インピーダンスで消費される高周波電力、前記負荷インピーダンスを流れる高周波電力、前記負荷インピーダンスに印加される電圧、前記負荷インピーダンスを流れる電流、および前記負荷インピーダンスの前記電圧と前記電流の位相差、のうちの少なくとも一つに基づいて、前記インピーダンス値が可変に調整される放電電極。

【請求項8】 請求項7記載の放電電極において、前記インピーダンス整合部は、前記負荷インピーダンスに入力される高周波電力または前記負荷インピーダンスで消費される高周波電力が最大になるように、もしくは前記負荷インピーダンスから反射される高周波電力が最小になるように、前記インピーダンス値が可変に調整さ

れる放電電極。

【請求項9】 請求項4から6のいずれかに記載の放電電極において、

前記負荷インピーダンスは、そのインピーダンス値を可変に調整可能なインピーダンス整合部を有し、

前記インピーダンス整合部は、前記電極本体の複数の部位のそれぞれの電圧値に基づいて、前記インピーダンス値が可変に調整される放電電極。

【請求項10】 請求項1から9のいずれかに記載の放電電極において、

前記電極本体は、ラダー型電極である放電電極。

【請求項11】 請求項1から10のいずれかに記載の放電電極において、

前記電極本体は、前記電極本体の少なくとも1つ以上の給電点部から前記高周波電力を入力して、前記電極本体の少なくとも1つ以上の終端点部から前記高周波電力を出力し、

前記給電点部および前記終端点部のそれぞれは、前記電極本体における互いに対称の位置に配置されている放電電極。

【請求項12】 請求項1から10のいずれかに記載の放電電極において、

前記電極本体は、前記電極本体の少なくとも1つ以上の給電点部から前記高周波電力を入力して、前記電極本体の少なくとも1つ以上の終端点部から前記高周波電力を出力し、

前記給電点部および前記終端点部のそれぞれは、前記電極本体における全ての点と当該点から最も近い前記給電点部または前記終端点部との間の電流経路が前記供給される高周波電力の真空中波長の1/4の距離以下となるように、配置されている放電電極。

【請求項13】 請求項1から10のいずれかに記載の放電電極において、

前記電極本体は、前記電極本体の少なくとも1つ以上の給電点部から前記高周波電力を入力して、前記電極本体の少なくとも1つ以上の終端点部から前記高周波電力を出力し、

前記電極本体の前記終端点部と前記反射波防止部の間、または前記反射波防止部と接地電位との間には直列に、コンデンサが接続されている放電電極。

【請求項14】 請求項13に記載の放電電極において、

前記コンデンサは、前記電極本体を直列的にバイアスするためのコンデンサである放電電極。

【請求項15】 放電電極部を有し、前記放電電極部に供給された高周波電力に基づいてプラズマを発生する高周波プラズマ発生装置であって、

前記放電電極部には、前記放電電極部に供給された高周波電力の反射波が前記放電電極部で発生することを防止する反射波防止部が設けられている高周波プラズマ発生

装置。

【請求項16】 給電点部および前記給電点部以外の非特定部とを有する放電電極を提供する事と、前記給電点部から前記放電電極に高周波電力を供給する事を備えてなり、前記高周波電力を供給する事は、前記給電点部から前記非特定部への一方向の進行波成分を前記放電電極に供給し、前記非特定部から前記給電点部への反射波成分を前記放電電極に供給しない放電電極への給電方法。

【請求項17】 プラズマCVD法により半導体を製造する方法であって、半導体基板を提供する事と、給電点部および前記給電点部以外の非特定部とを有する前記プラズマCVD法に用いる放電電極を提供する事と、

前記給電点部から前記放電電極に高周波電力を供給する事と、

前記供給された高周波電力によってプラズマを発生させ、前記プラズマを用いて前記半導体基板の上に薄膜を形成する事を備えてなり、

前記高周波電力を供給する事は、前記給電点部から前記非特定部への一方向の進行波成分を前記放電電極に供給し、前記非特定部から前記給電点部への反射波成分を前記放電電極に供給しない半導体の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、放電電極、高周波プラズマ発生装置、放電電極への給電方法および半導体の製造方法に関し、特に、太陽電池や薄膜トランジスタなどに用いられるアモルファスシリコン、微結晶シリコン、多結晶薄膜シリコン、窒化シリコンなどの半導体の製膜や、半導体膜のエッチングに用いられる高周波プラズマ発生装置、その放電電極、放電電極への給電方法およびこれを用いた半導体の製造方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 前記高周波プラズマ発生装置の構成とそれを用いた半導体の製造方法の例として、アモルファスシリコン半導体薄膜（以下、a-Siと言う）をプラズマ化学蒸着装置（以下PCVD装置という）にて製造する場合について、①平行平板型電極を用いた場合と、②ラダー電極を用いた場合の2つの場合の代表例を挙げて説明する。

【0003】 図11は、a-Si製膜にごく一般に用いられる①の平行平板型電極を用いた装置の一構成例を示している。反応容器1内に基板ヒータ2を設置し、電気的に接地する。基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば20mm離して平板電極3を設置する。平板電極3には、外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続する。平板電極3には、基板ヒータ2と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないように、アースシールド8

10

20

30

40

50

を設置する。

【0004】 a-Si製膜は以下の手順で行う。まず、たとえば200°Cに設定した基板ヒータ2上にa-Si薄膜を製膜する基板16を設置する。ガス供給管17からSiH<sub>4</sub>ガスをたとえば流速50sccmで導入し、真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで、反応容器1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。高周波電力を供給し、基板16と平板電極3の間にプラズマを発生させる。高周波電力が効率良くプラズマ発生部に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整する。プラズマ19中ではSiH<sub>4</sub>が分解し、基板16表面にa-Si膜が製膜される。たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより必要な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0005】 図12は、②のラダー電極303を用いた装置の一構成例を示している。ラダー電極については、たとえば特開平4-236781号に詳細が報告されている。図13は、ラダー電極303の構造がよく分るよう图12のA方向から描いた図である。

【0006】 反応容器1内に基板ヒータ2（図13には図示していない）を設置し、電気的に接地する。基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば20mm離してラダー電極303を設置する。ラダー電極303には、外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続する。ラダー電極303には、基板ヒータ2と対向する面と反対側に不要なプラズマが生成しないように、アースシールド308を設置する。

【0007】 a-Si製膜は以下の手順で行う。まず、たとえば200°Cに設定した基板ヒータ2上にa-Si薄膜を製膜する基板16を設置する。ガス供給管17からSiH<sub>4</sub>ガスをたとえば流速50sccmで導入し、真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで、反応容器1内の圧力をたとえば100mTorrに調節する。高周波電力を供給し、基板16とラダー電極303の間にプラズマを発生させる。高周波電力が効率良くプラズマ319発生部に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整する。プラズマ319中ではSiH<sub>4</sub>が分解し、基板16にa-Si膜が製膜される。たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより、必要な厚さのa-Si膜が製膜される。

【0008】 図12および図13に示す本構成例は図11の構成例と比較して、以下の2点の特徴がある。第一の特徴は、電極として平板電極を用いず、円形断面の電極棒を梯子型に組んだラダー型と呼ばれる電極を用いていることである。本電極は電極棒の間を原料のSiH<sub>4</sub>ガスが自由に流れるので、原料供給が均一に行われると言う特徴を持つ。第二の特徴は、給電を電極の1箇所に行うのではなく、複数（ここでは4点）箇所に行ってい

ことである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】現在、上記技術を用いて作製される太陽電池用薄膜半導体、フラットパネルディスプレイ用薄膜トランジスタなどは、高速製膜による低コスト化、および、低欠陥密度、高結晶化率などの高品質化が求められている。これら要求を満たす新しいプラズマ生成方法として、高周波電源の高周波化（30 MHz～300 MHz）がある。高周波化により製膜速度の高速化と高品質化が両立されることが、たとえば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 424, pp9, 1997に記されている。特に、a-Siに代る新しい薄膜として注目されている微結晶Si薄膜の高速高品質製膜にこの高周波が適していることが最近分ってきている。

【0010】ところが、この高周波による製膜は、均一大面積製膜が難しいという欠点がある。これは、高周波の波長が電極サイズと同程度のオーダーであることから、電極端などで生じる反射波を主因とする定在波による電圧分布が電極面内に発生し、それにともないプラズマが不均一となり、結果、製膜が不均一になるためである。

【0011】①平行平板電極を用いた場合の代表例として挙げた上記構成例において、電極サイズが30 cmを越え、または、周波数が30 MHzを越えると、上記定在波の影響が顕著となり、半導体製膜上最低限必要な製膜膜厚均一性±10%の達成が困難になる。

【0012】図14は、100 MHzでの定在波による電圧分布の1例である。図14は、同時にイオン飽和電流分布も示している。イオン飽和電流分布は、電子密度分布にほぼ等しく、計測が簡単であるので、一般にプラズマ分布の指標として用いられる。電圧分布を見ると電極上に定在波が生じており、それに対応してイオン飽和電流分布すなわちプラズマ分布が不均一になっていることが分る。

【0013】一方、②ラダー電極を用いた場合の代表例として挙げた図12および図13は、ラダー電極を用いていることに加え、1点給電では顕著に生じてしまう定在波を、4点に給電することにより低減したことを特徴とするものである。しかしながら、この場合でも、電極サイズが30 cmを越え、または、周波数が80 MHzを越えると均一な製膜の実現が難しくなってくる。図15に60 MHzおよび100 MHzで4点給電したときのラダー電極上に生じる電圧分布を示す。60 MHzでは比較的均一な電圧分布を示しているが、100 MHzでは不均一になってしまっている。また、4点の給電位置は、試行錯誤的に最適位置を見つける必要があり、非常に手間暇がかかる。さらに、ガス圧、高周波電力などの製膜条件を変更すると、最適位置が変ってしまうと言う問題がある。

10

20

30

40

50

【0014】以上のような問題は学会でも注目され、これまでにたとえば文献Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 377, pp33, 1995に記されているように、平行平板の給電側と反対側にロスのないリアクタンス（コイル）を接続することが提案されている。これは、定在波の電極端からの反射条件を変えることで、定在波の波形の中で分布が比較的平らな部分、たとえばsin波の極大付近を電極上に発生させて、電極に生じる電圧分布を少なくするものである。しかしながら、この方法は定在波を根本から無くすのではなく、sin波のうち平らな部分が電極上に発生するようにするだけであるため、均一部分が得られるのは波長の1/8程度までであり、それを越える範囲の均一化は原理的に不可能である。図16に100 MHzで平行平板の一端をロスのないリアクタンス（コイル）で終端したときの電圧分布を示す。このように、終端端から30 cm程度は均一であるが、それ以上は不均一になってしまっており、この部分は製膜に用いることができない。

【0015】本発明は、上記の事情に鑑みてなされたもので、プラズマのような放電状態の均一性を向上させる放電電極、高周波プラズマ発生装置、放電電極への給電方法および半導体の製造方法を提供することを目的としている。

【0016】

【課題を解決するための手段】その課題を解決するための手段が請求項に対応して表現される次の記載中に現れる（）つきの数字は、請求項の記載事項が詳しく後述される実施の複数の形態のうちの少なくとも1つの形態の部材、工程、動作に対応することを示すが、本発明の解決手段がそれらの数字が示す実施の形態の部材に限定して解釈されるためのものではなく、その対応関係を明白にするためのものである。

【0017】本発明の放電電極は、供給された高周波電力に基づいて放電状態（19）を発生させるための放電電極であって、前記高周波電力が供給される電極本体（3）と、前記電極本体（3）に供給された高周波電力の反射波が前記電極本体（3）で発生することを防止する反射波防止部（13）とを備えている。前記放電状態とは、放電により発生するプラズマ（19）であることができる。

【0018】本発明の放電電極において、前記反射波防止部（13）は、更に、前記高周波電力の反射波が前記電極本体（3）に進入することを防止する。

【0019】本発明の放電電極において、前記反射波防止部（13）は、前記高周波電力の定在波が前記電極本体（3）に発生することを防止する。

【0020】本発明の放電電極において、前記電極本体（3）は、前記供給された高周波電力を前記電極本体（3）の外部に出力するための出力部（9）を有し、前記反射波防止部（13）は、前記出力部（9）に接続さ

れ、前記出力部（9）から出力された前記高周波電力に対する負荷インピーダンスである。

- 【0021】本発明の放電電極において、前記負荷インピーダンスは、前記出力部（9）から出力された前記高周波電力の進行波成分を略完全に吸収して前記反射波が前記電極本体（3）で発生することを防止する。
- 【0022】本発明の放電電極において、前記負荷インピーダンスは、可変または固定のインピーダンス値を有するインピーダンス整合部（13）と、抵抗（14）を有している。

【0023】本発明の放電電極において、前記負荷インピーダンス（413）は、そのインピーダンス値を可変に調整可能なインピーダンス整合部（413）を有し、前記インピーダンス整合部（413）は、前記負荷インピーダンス（413）に入力される高周波電力、前記負荷インピーダンス（413）から反射される高周波電力、前記負荷インピーダンス（413）で消費される高周波電力、前記負荷インピーダンス（413）を流れる高周波電力、前記負荷インピーダンス（413）に印加される電圧、前記負荷インピーダンス（413）を流れる電流、および前記負荷インピーダンス（413）の前記電圧と前記電流の位相差、のうちの少なくとも一つに基づいて、前記インピーダンス値が可変に調整される。

【0024】本発明の放電電極において、前記インピーダンス整合部（413）は、前記負荷インピーダンス（413）に入力される高周波電力または前記負荷インピーダンス（413）で消費される高周波電力が最大になるように、もしくは前記負荷インピーダンス（413）から反射される高周波電力が最小になるように、前記インピーダンス値が可変に調整される。

【0025】本発明の放電電極において、前記負荷インピーダンス（913）は、そのインピーダンス値を可変に調整可能なインピーダンス整合部（913）を有し、前記インピーダンス整合部（913）は、前記電極本体（3）の複数の部位のそれぞれの電圧値に基づいて、前記インピーダンス値が可変に調整される。

【0026】本発明の放電電極において、前記電極本体は、ラダー型電極（303）である。

【0027】本発明の放電電極において、前記電極本体（3）は、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の給電点部（7）から前記高周波電力を入力して、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の終端点部（9）から前記高周波電力を出力し、前記給電点部（7）および前記終端点部（9）のそれぞれ、前記電極本体（3）における互いに対称の位置に配置されている。

【0028】本発明の放電電極において、前記電極本体（3）は、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の給電点部から前記高周波電力を入力して、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の終端点部から前記高周波電力を出力し、前記給電点部および前記終端点部のそれ

それは、前記電極本体（3）における全ての点と当該点から最も近い前記給電点部または前記終端点部との間の電流経路が前記供給される高周波電力の真空中波長の1/4の距離以下となるように、配置されている。

【0029】本発明の放電電極において、前記電極本体（3）は、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の給電点部から前記高周波電力を入力して、前記電極本体（3）の少なくとも1つ以上の終端点部から前記高周波電力を出力し、前記電極本体（3）の前記終端点部（309）と前記反射波防止部（413）の間、または前記反射波防止部と接地電位との間には直列に、コンデンサ（1023）が接続されている。

【0030】本発明の放電電極において、前記コンデンサ（1023）は、前記電極本体（3）を直流的にバイアスするためのコンデンサである。

【0031】本発明の高周波プラズマ発生装置は、放電電極部（3）を有し、前記放電電極部（3）に供給された高周波電力に基づいてプラズマを発生する高周波プラズマ発生装置であって、前記放電電極部（3）には、前記放電電極部（3）に供給された高周波電力の反射波が前記放電電極部（3）で発生することを防止する反射波防止部が設けられている。

【0032】本発明の放電電極への給電方法は、給電点部（7）および前記給電点部以外の非特定部（9）とを有する放電電極（3）を提供する事と、前記給電点部（7）から前記放電電極（3）に高周波電力を供給する事とを備えてなり、前記高周波電力を供給する事は、前記給電点部（7）から前記非特定部（9）への一方向の進行波成分を前記放電電極（3）に供給し、前記非特定部（9）から前記給電点部（7）への反射波成分を前記放電電極（3）に供給しない。

【0033】本発明の半導体の製造方法は、プラズマCVD法により半導体を製造する方法であって、半導体基板（16）を提供する事と、給電点部（7）および前記給電点部以外の非特定部（9）とを有する前記プラズマCVD法に用いる放電電極（3）を提供する事と、前記給電点部（7）から前記放電電極（3）に高周波電力を供給する事と、前記供給された高周波電力によってプラズマ（19）を発生させ、前記プラズマ（19）を用いて前記半導体基板（16）の上に薄膜を形成する事とを備えてなり、前記高周波電力を供給する事は、前記給電点部（7）から前記非特定部（9）への一方向の進行波成分を前記放電電極（3）に供給し、前記非特定部（9）から前記給電点部（7）への反射波成分を前記放電電極（3）に供給しない。

【0034】本発明の高周波放電電極の発明は、少なくとも1点以上の給電点と、少なくとも1点以上の終端点を有し、当該放電電極への高周波電力の供給が前記1点以上の給電点から前記1点以上の終端点への1方向の進行波成分によって行われ、終端点から給電点方向への反

射波成分が生じないような外部回路を当該終端点に接続する。

【0035】終端点に接続する外部回路として抵抗成分を持つ負荷インピーダンスを用いる。当該負荷インピーダンスを可変もしくは固定のインピーダンス整合器と抵抗で構成する。

【0036】当該負荷インピーダンスに流入する高周波電力、当該負荷インピーダンスから反射される高周波電力、当該負荷インピーダンスで消費される高周波電力、当該負荷インピーダンスにかかる電圧、または、当該負荷インピーダンスに流れる電流の少なくとも1つを測定し、その値をもとに手動又は自動で整合器を調整する調節機構を有する。負荷インピーダンスに流入する高周波電力あるいは消費される高周波電力が最大に、もしくは、反射される電力が最低になるように整合器を自動もしくは手動で調整する。電極上の高周波電圧分布を計測し、その分布をもとに当該整合器を自動もしくは手動で調整する。

【0037】当該放電電極にラダー型電極を用いる。当該給電点と当該終端点の配置を電極の対称的な位置に配置する。電極上のどの点も、その点から最も近い当該給電点もしくは当該終端点までの電流経路が電源高周波の真空中波長の1/4の距離以下になるように、当該給電点と当該終端点を配置する。電極上の高周波電力の終端点と負荷インピーダンスの間、もしくは、負荷インピーダンスとアースとの間に直列にコンデンサを挿入することにより、電極が直列的にバイアスされるように接続する。

#### 【0038】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して、本発明の高周波プラズマ発生装置の一実施の形態について説明する。以下、本発明の実施の形態について説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0039】【第1の実施の形態】図1は、第1実施形態の構成図であり、太陽電池用Si半導体薄膜を製膜するための高周波プラズマ発生装置の内部断面の、基板面と垂直な方向から見た図(a)と、水平な方向から見た図(b)を示している。本構成例は、平行平板電極への本発明の適用例であり、70cm×70cmの基板16への高周波による均一製膜をおこなったものである。

【0040】反応容器1内に80cm×80cmの基板ヒータ2を設置し、電気的に接地した。この基板ヒータ2を一方の平板電極3とし、他方、基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば20mm離して、もう一つの80cm×80cmの平板電極3を設置した。後者の平板電極3には、外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続した。給電点7は、平板電極3上の角31の1点とした。

【0041】この平板電極3には、基板ヒータ2と対向

する面と反対側に不要なプラズマが生成しないように、アースシールド8を設置した。アースシールド8は、平板電極3の外周側とその裏面側を囲うように設置し、平板電極3との隙間が2mm以下になるようにした。

【0042】平板電極3の給電点7とは対称な位置の角32に終端点9を設け、終端用ケーブル10を接続した。終端用ケーブル10をT分岐コネクタ11で分岐し、その一方を、先端に短絡コネクタ12を接続した同軸ケーブル整合器13に接続した。終端用ケーブル10の他方は、50Ω終端抵抗器14に接続し、アース15に接地した。

【0043】製膜に先立って、本構成における平板電極3上の電圧分布及びイオン飽和電流分布の均一性を測定しながら同軸ケーブル整合器13の長さを調節し、最適な分布が得られるようにした。図2はその結果であり、給電点7から終端点9までの平板電極3の対角線L上を測定したものである。イオン飽和電流分布は、電極間距離である20mmの中央をプローブを挿引して測定した。測定はArガス100mTorrで行った。イオン飽和電流分布は一般にプラズマ分布にはほぼ等しい。本図と図15や図16を比較すると分るように、従来法と比較して、本構成例による高周波プラズマの発生では、非常に大きな範囲で電極上電圧分布およびプラズマ分布の均一性を達成することが出来ている。

【0044】これは、終端点9に抵抗成分を持つ適当な負荷13、14を接続することにより、終端点9に流入した高周波電力の進行波成分を完全吸収し、反射波が生じないようにすることにより、電極3上に定在波が立たないようにすることが出来たためである。電極3内には進行波のみが存在し、反射波がない状態になっていると考えられる。

【0045】次に、a-Si製膜や微結晶Si製膜を以下の手順で行った。まず、たとえば200°Cに設定した基板ヒータ2上に、Si薄膜を製膜する70cm×70cmの基板16を設置した。ガス供給管17からSiH<sub>4</sub>ガスをたとえば流速50sccmで導入し、さらに微結晶Si製膜の場合には、SiH<sub>4</sub>ガスに加えて水素ガスをたとえば2000sccm程度流した。真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで、反応容器1内の圧力をたとえば100mTorrに調節した。高周波電力たとえば60MHz、100Wを供給し、基板16と平板電極3の間にプラズマを発生させた。高周波電力が効率良くプラズマ19に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整した。プラズマ19中ではSiH<sub>4</sub>が分解し、基板16表面にa-Si膜や微結晶Si膜が製膜される。たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより、必要な厚さの膜が製膜された。製膜されたサンプルの膜厚分布を測定し、同軸ケーブル整合器13の長さを微調整し、最適な分布が得られるようにした。

【0046】製膜速度はたとえば微結晶製膜において $10\text{ \AA/s}$ という高速が得られ、均一性は $\pm 10\%$ であり、太陽電池用Si薄膜半導体で必要とされる均一性を達成した。

【0047】[第2の実施の形態] 図3は図1に示す平行平板型電極3をラダー電極303に変更し、細部に変更を加えた第2の実施形態の構成図である。本構成例も $70\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ の基板への高周波による均一製膜をおこなったものである。反応容器1内に $80\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ の基板ヒータ2を設置し、電気的に接地した。この基板ヒータ1を一方の電極とし、他方、基板ヒータ2と対向した位置に、基板ヒータ2からたとえば $20\text{ mm}$ 離して、 $80\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ のラダー電極303を設置した。このラダー電極303には、外部の高周波電源4をインピーダンス整合器5および同軸ケーブル6を介して接続した。給電点307(a, b)は図3に示すようにラダー電極の上部の2点とし、2点の位置の相互関係はラダー電極303の対称的な位置とした。一方、終端点309(a, b)はこれら2点に対して対称的な位置の2点とした。

【0048】本実施形態において給電点307、終端点309とも、それぞれ2点ずつとしたのは、以下の理由により効果がある。すなわち、第1実施形態の実施により、理論的には定在波を完全に無くすことが出来るが、実際には終端点309などの特性インピーダンスの不連続部分で反射が生じてしまうため、定在波がわずかながら発生してしまう。このわずかな定在波の影響を最低限にするために、電極303上の全ての点から給電点307もしくは終端点308までの最短電流経路距離を定在波の山と谷の距離にあたる $1/4$ 波長以下とする。

【0049】第1の実施形態において高周波周波数が $60\text{ MHz}$ の際には均一なプラズマ分布が得られたが、 $100\text{ MHz}$ では充分な均一性が得られなかった。これは $100\text{ MHz}$ の $1/4$ 波長が $75\text{ cm}$ であるのに対し、第1の実施形態では、給電点7もしくは終端点9から、電極中央までの最短電流経路の距離が $80\text{ cm}$ であり、この $1/4$ 波長を越えているためである。そこで、本実施形態では給電点307、終端点309を増やすことにより、この距離を小さくし、 $100\text{ MHz}$ での均一化を図った。

【0050】ラダー電極303には、不要なプラズマが生成しないためと、ガス供給管17から供給するSiH<sub>4</sub>ガスが基板ヒータ2-ラダー電極303間に効率的に流れ、不要な空間に拡散しないように、アースシールド308を設置した。アースシールド308はラダー電極303の外周側と裏面側を囲うように設置し、ラダー電極303との隙間がおおむね $20\text{ mm}$ 程度になるようにした。

【0051】終端点309(a, b)には終端用ケーブル10を接続した。終端用ケーブル10をT分歧コネク

タ11で分歧し、その一方を、先端に開放コネクタ312を接続した同軸ケーブル整合器13に接続した。第1の実施形態では先端のコネクタは短絡コネクタ12であったが、本実施形態においては開放コネクタ312の方が短い同軸ケーブル13で分布を均一にすることができた。T分歧コネクタ11の他方は $50\text{ \Omega}$ 終端抵抗器14に接続し、アース15に接地した。第1の実施形態と同様、プラズマ分布を測定しながら同軸ケーブル整合器13の長さを調節し、最適なプラズマ均一性が得られるようにした。

【0052】つぎに、a-Si製膜や微結晶Si製膜を以下の手順で行った。まず、たとえば $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ に設定した基板ヒータ2上にSi薄膜を製膜する $70\text{ cm} \times 70\text{ cm}$ の基板16を設置した。ガス供給管17からSiH<sub>4</sub>ガスをたとえば流速 $50\text{ sccm}$ で導入し、さらに微結晶Si製膜の場合には、SiH<sub>4</sub>ガスに加えて水素ガスをたとえば $2000\text{ sccm}$ 程度流した。真空排気管18に接続した図示しない真空ポンプ系の排気速度を調整することで、反応容器1内の圧力をたとえば $100\text{ mTorr}$ に調節した。高周波電力たとえば $100\text{ MHz}$ 、 $100\text{ W}$ を供給し、基板16とラダー電極303の間にプラズマ319を発生させた。高周波電力が効率良くプラズマ319に供給されるようにインピーダンス整合器5を調整した。プラズマ319中ではSiH<sub>4</sub>が分解し、基板16にa-Si膜や微結晶Si膜が製膜される。たとえば10分程度この状態で製膜を行うことにより必要な厚さの膜が製膜された。製膜されたサンプルの膜厚分布を測定し、同軸ケーブル整合器13の長さを微調整し、最適な分布が得られるようにした。最適な同軸ケーブル長さは、ガス圧、流量、周波数、パワーなどによって異なるので、それに必要なケーブルを使用した。

【0053】製膜速度はたとえば微結晶製膜において $15\text{ \AA/s}$ という高速が得られ、均一性は $\pm 10\%$ であり、太陽電池用Si薄膜半導体で必要とされる均一性を達成した。

【0054】[第3の実施の形態] 図4は図3に示した同軸ケーブル整合器13を可変インピーダンス整合器413に変更するとともに、この可変インピーダンス整合器413に流入するパワーを測定する通過型パワーメータ420を終端点309(a, b)と可変インピーダンス整合器413の間に設置した第3の実施形態の構成図である。

【0055】終端点309(a, b)からアース15までの構成以外は第2の実施形態と同じなので、終端点309(a, b)からアース15までの違いについて説明する。まず、第2の実施形態では固定インピーダンスである同軸ケーブル整合器13を用いていた。固定インピーダンスではインピーダンスの調整が難しい上、第1、第2の実施形態のような同軸ケーブル整合器13を1つ

だけ用いた構成では完全な調整は不可能である。そこで本実施形態では、可変インピーダンス整合器413を用いることにより、簡単に調整できるようにした。可変インピーダンス整合器413には、たとえば、図5に示したL型整合器、図6に示したπ型整合器、図7に示したスタブ型整合器、図8に示した可変容量型整合器などを用いることが出来る。ここではπ型整合器を用いた。

【0056】第1、第2の実施形態で例示したように均一な分布を得るためにその都度、2次元的なプラズマや膜厚の分布を計測していくは、最適化に非常に時間がかかる。そこで、本実施形態では、均一性を計測する代りに、可変インピーダンス整合器413への流入パワーを計測して指標とすることを考えた。不均一性の原因は定在波の発生であり、定在波は終端点での反射によって生じる。終端点309での反射がなければ定在波はなくなるはずである。終端点で反射がないということは、終端点309に流入した高周波パワーが全て可変インピーダンス整合器413側に流入するということであるから、可変インピーダンス整合器413側に流入するパワーが最大になることに等しい。すなわち、この可変インピーダンス整合器413に流入するパワーを通過型パワーメータ420で計測し、それが最大になるように調節すれば、定在波がなくなり、均一化を図ることが出来るはずである。

【0057】実際、この方法をおこなったところ、図2と同様な均一分布が簡単に得られ、調整のスピードアップにつながった。さらに、この調整を自動化するために、可変インピーダンス整合器413に流入するパワーが最大になるように可変インピーダンス整合器413にフィードバック制御をかけた。これにより、均一化の調整が自動化され、どの様な製膜条件でも、瞬時に最適な調整が行えるようになった。

【0058】[第4の実施の形態] 図9は第4の実施形態を示す。その構成は、第1の実施形態の平行平板電極を用いた構成に、平板電極3裏側の高周波電圧分布を計測する複数の電圧プローブ921(a～e)を追加、負荷インピーダンス13を可変インピーダンス整合器913に変更、さらに、複数の電圧プローブ921(a～e)の計測値を収集しその分布が均一になるように可変インピーダンス整合器913を自動調整するパソコン922を追加したものである。この構成により平板電極上の高周波電圧分布を自動的に最適制御し、プラズマ19および膜厚分布を均一化することが出来るようになった。実際に得られた膜厚分布は70cm×70cmの基板で、±7%以内であった。

【0059】[第5の実施の形態] 図10は第5の実施形態を示す。その構成は、図4に示した第3の実施形態の、終端点309と通過型パワーメータ420の間にコンデンサー1023を挿入するように変更したものである。

【0060】図4に示した第3の実施形態において可変インピーダンス整合器413に、π型整合器、もしくは、スタブ型整合器、もしくは、可変容量型整合器などを用いた場合、これらの整合器は、直流通じて入力側と出力側が分離されていないので、高周波印加側の電極であるラダー電極303が直流通じて接地される（アース電位に落ちる）ことになる。高周波印加側の電極303が直流通じて接地されると、この電極303の電圧は、バイアス電圧をゼロとして、それを中心に高周波電圧が正負にかかる形になる。

【0061】一方、本実施形態に示すようにコンデンサー1023を挿入すれば、電極電圧が有限の負電圧にバイアスされ、これを中心として高周波電圧がかかる形になる。この場合、バイアス電圧がゼロの場合と比べてプラズマ電位が低くなるため、プラズマ319から基板16表面に入射するイオンのエネルギーが低くなる。バイアス電圧が負の場合にプラズマ電位が低くなり、イオンのエネルギーが低くなる原理は文献P. H. D. Brian N. Chapman著、岡本幸雄訳「プラズマプロセシングの基礎」電気書院(1985)に記載されている。一般にa-Si製膜や微結晶Si製膜は入射イオンのエネルギーが低い方が良質な膜が出来る。したがって、本実施形態でコンデンサー1023を挿入することにより、良質な膜が出来る。実際、本実施形態により製膜した微結晶Si膜の結晶化度はラマンピーク比で9:1を越え、コンデンサー1023を挿入しない場合の8:1に比べ良質なものであった。

【0062】

【発明の効果】本発明により高周波によって発生する大面積プラズマの均一性を格段に向上させることが出来る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第1の実施形態を示す断面および接続図である。

【図2】図2は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第1の実施形態で得られる電圧分布及びイオン飽和電流分布を示す図である。

【図3】図3は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第2の実施形態を示す断面および接続図である。

【図4】図4は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第3の実施形態を示す断面および接続図である。

【図5】図5は、L型整合器の回路図である。

【図6】図6は、π型整合器の回路図である。

【図7】図7は、スタブ型整合器の回路図である。

【図8】図8は、可変容量型整合器の回路図である。

【図9】図9は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第4の実施形態を示す断面および接続図である。

【図10】図10は、本発明による高周波プラズマ発生装置の第5の実施形態を示す断面および接続図である。

【図11】図11は、従来技術の一例として、平行平板

電極の裏側中央の1点に給電したPCVD装置の構成図である。

【図12】図12は、従来技術の一例として、ラダー電極の周囲4点に給電したPCVD装置の構成図である。

【図13】図13は、ラダー電極の周囲4点に給電したPCVD装置を図12と垂直な方向から見た図である。

【図14】図14は、100MHzで電極の1点に給電したときの電圧分布とイオン飽和電流分布を示す図である。

【図15】図15は、60MHzおよび100MHzでラダー電極に4点給電したときの電圧分布を示す図である。

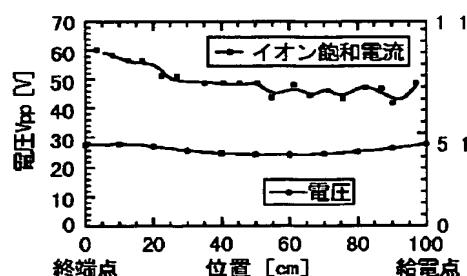
【図16】図16は、100MHzで平行平板の一端をリアクタンスで終端したときの電圧分布を示す図である。

【符号の説明】

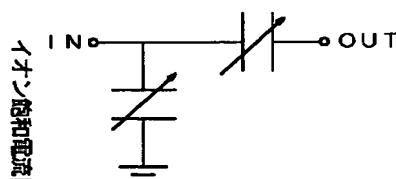
- 1 反応容器
- 2 基板ヒータ
- 3 平板電極
- 4 高周波電極
- 5 インピーダンス整合器
- 6 同軸ケーブル
- 7 給電点
- 8 アースシールド
- 9 終端点
- 10 終端用ケーブル
- 11 T分岐コネクタ
- 12 短絡コネクタ

- \* 13 同軸ケーブル整合器（負荷インピーダンス）
- 14 50Ω終端抵抗器
- 15 アース
- 16 基板
- 17 ガス供給管
- 18 真空排気管
- 19 ブラズマ
- 303 ラダー電極
- 307 給電点
- 307a 給電点
- 307b 給電点
- 308 アースシールド
- 309 終端点
- 309a 終端点
- 309b 終端点
- 312 開放コネクタ
- 319 ブラズマ
- 413 可変インピーダンス整合器
- 420 通過型パワーメータ
- 20 913 可変インピーダンス整合器
- 921 電圧プローブ
- 921a 電圧プローブ
- 921b 電圧プローブ
- 921c 電圧プローブ
- 921d 電圧プローブ
- 921e 電圧プローブ
- 922 パソコン
- \* 1023 コンデンサ

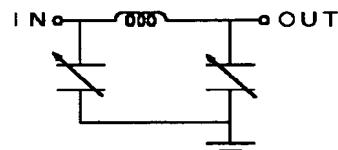
【図2】



【図5】

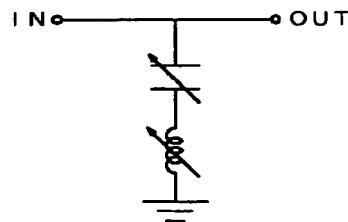


【図6】

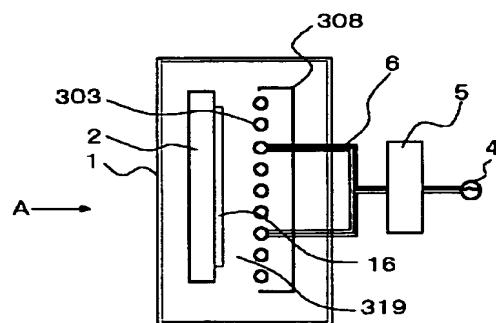
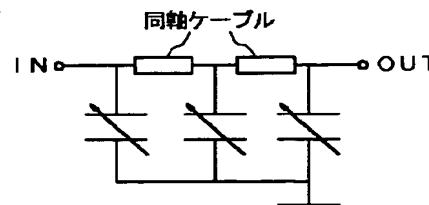


【図12】

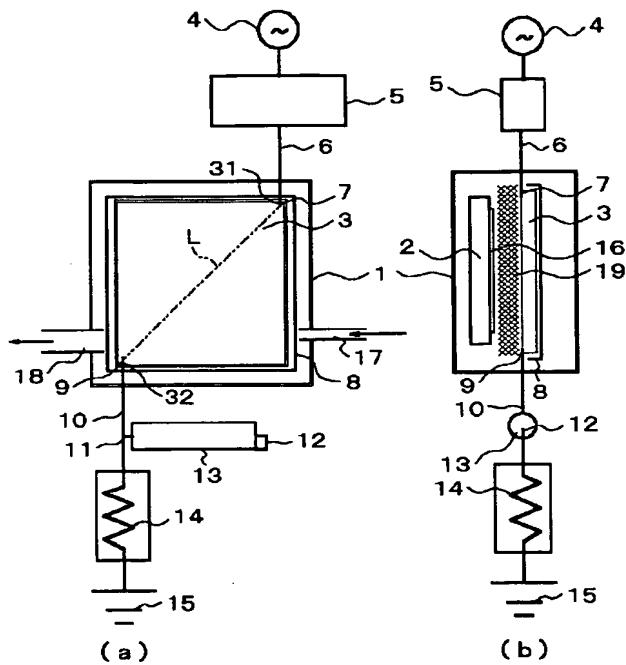
【図7】



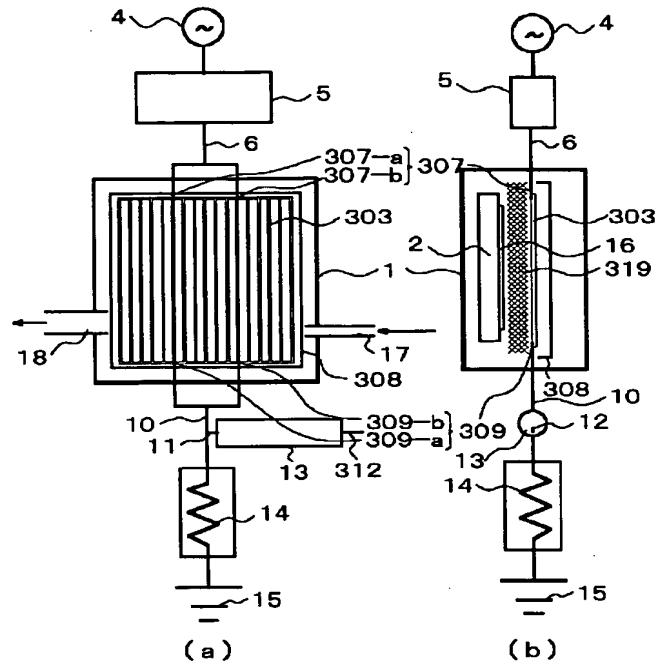
【図8】



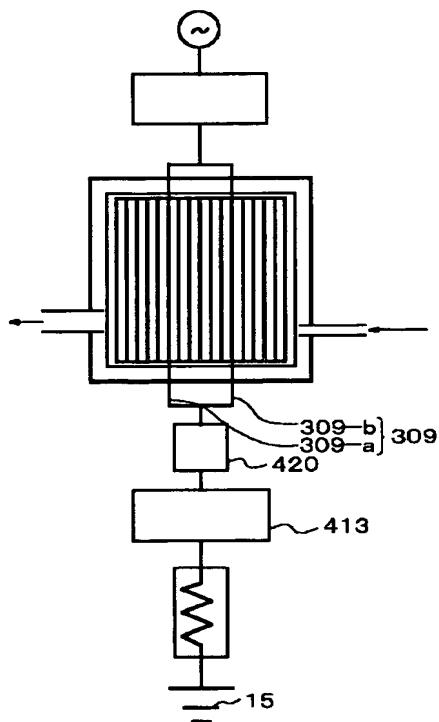
【図1】



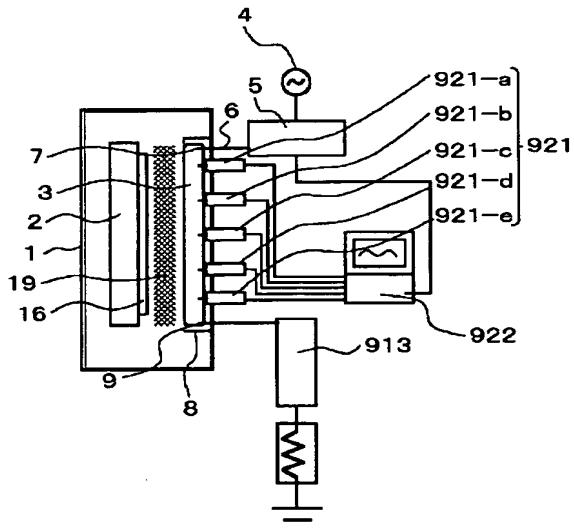
【図3】



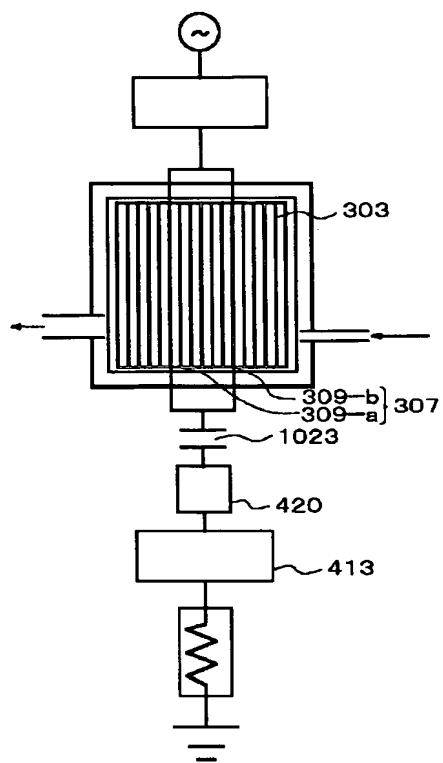
【図4】



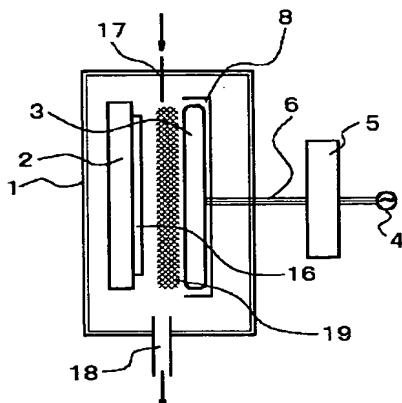
【図9】



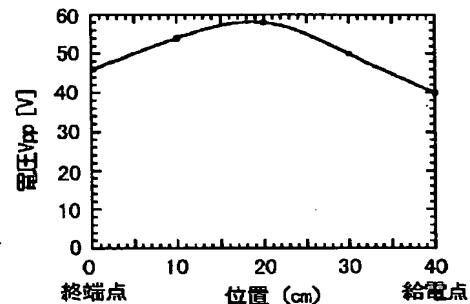
【図10】



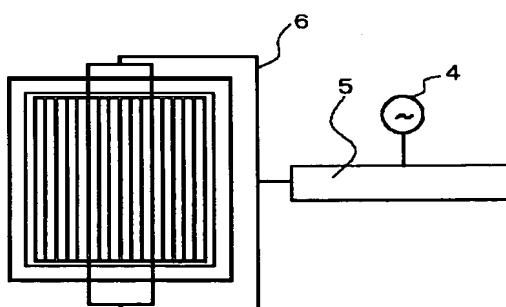
【図11】



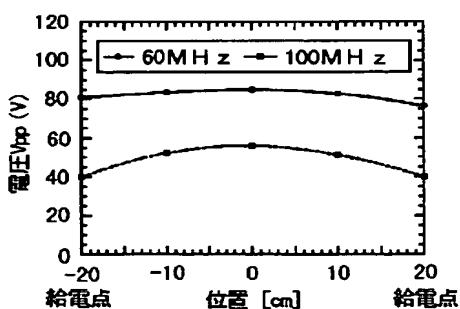
【図16】



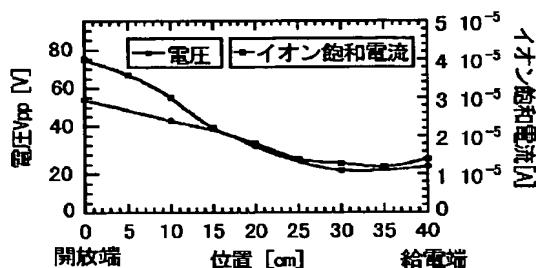
【図13】



【図15】



【図14】



## フロントページの続き

(72)発明者 団野 実  
神奈川県横浜市金沢区幸浦一丁目8番地1  
三菱重工業株式会社基盤技術研究所内

F ターム(参考) 5F045 AA08 AB03 AB04 AC01 AD06  
AE19 DP01 EH04